



КЛАССИЧЕСКИЕ РАБОТЫ. СТРАНИЦЫ ИСТОРИИ

О прецессионном движении жидкости

Уильям Томсон

Представлено в Секцию А Британской ассоциации
в четверг, 7 сентября 1876 года¹

Формулы, описывающие такое движение, были представлены и кратко объяснены раньше, однако их аналитическое исследование будет дано в статье более математического характера, которая будет представлена на заседание Секции в ближайшую субботу. Основная цель настоящего сообщения состоит в экспериментальной иллюстрации вывода теории, анонсированного автором в его вступительном слове на заседании Секции. Эффект состоит в том, что в случае, когда период прецессии сплюсненной сфероидальной жесткой оболочки, заполненной жидкостью, превышает период вращения жидкости в гораздо большей степени, чем любой диаметр сфероида превышает разность между наибольшим и наименьшим диаметрами, влияние заданной пары сил, приложенной к оболочке, на прецессию будет приблизительно таким же, как на твердое тело, вращающееся с той же угловой скоростью. Эксперимент состоял в наблюдении поведения жидкого гиростата, в котором сплюсненный сфероид из тонкой листовой меди, заполненный водой, заменял собой твердый маховик обычного гиростата. В используемой установке экваториальный диаметр жидкой оболочки превышал длину полярной оси приблизительно на одну десятую.

При скорости вращения 30 оборотов в секунду любая движущая сила, которая при воздействии на вращающееся твердое тело той же массы и с теми же размерами создавала бы прецессию с периодом, значительно большим $\frac{1}{2}$ с, должна, согласно нашей теории, создавать в тонкой оболочке, заполненной жидкостью, приблизительно такую же прецессию, как и в случае твердого тела. Соответственно, основные прецессионные явления, наблюдаемые на жидком гиростате, не должны отличаться сколько-нибудь заметно от таковых на обычных твердых гиростатах, используемых для сравнения. Более внимательное наблюдение без проведения измерений, вероятно, могло бы обнаружить тонкие различия между характеристиками жидкого и твердого гиростата в виде нутационного дрожания, возникающего при ударе кулаком по корпусу установки.

William Thomson. On the Precessional Motion of a Liquid // *Nature*, 1 Feb. 1877, vol. 15, pp. 297–298. Перевод с английского Э. М. Эпштейна. Сноски-примечания редакции «НД».

¹Brit. Assoc. Report, 7 Sept. 1876, pt. ii, pp. 33–35.

В данной работе не делалось попыток измерить скорости или силы, автор лишь показал, что жидкий гироскоп может служить грубой иллюстрацией очень интересного результата из области математической гидродинамики — квазижесткости, возникающей при вращении невязкой жидкости.

Р. С. После представления данного сообщения в Ассоциацию и предшествовавшего ему в тот же день вступительного слова я получил от профессора Генри вып. 240 *Smithsonian Contributions to Knowledge*, датированного октябром 1871 года, с работой под названием «Проблемы вращательного движения, связанные с гироскопом, прецессией равноденствий и маятником» (*Problems of Rotatory Motion presented by the Gyroscope, the Precession of the Equinoxes, and the Pendulum*)², представленной генерал-майором Дж. Г. Барнардом из Инженерного корпуса США. В ней (с. 45) я обнаружил разногласия с моими ранее опубликованными утверждениями, выраженные следующим образом:

«Я не согласен с сэром Уильямом Томсоном в вопросе, упомянутом в заметке Томсона и Тэта³ (с. 38), и в его письме к г-ну Дж. П. Скропу (*Nature* от 1 февраля 1872 года)⁴. Что касается жидкости или другой нежесткой среды внутри бесконечно жесткой оболочки, я не думаю, что можно влиять на частоту прецессии».

В другом месте той же статьи генерал Барнард говорит о «практической жесткости, создаваемой вращением». Таким образом, он предвосхитил мою поправку к утверждениям, содержащимся в моей статье о жесткости Земли⁵, относительно влияния внутренней жидкости на прецессионное движение идеально жесткой эллипсоидальной оболочки, заполненной жидкостью.

Я сожалею, что другая ошибка в той статье, которая была исправлена в моем вступительном слове, осталась не исправленной генералом Барнардом и что правдоподобные рассуждения, которые привели меня к ней, показались убедительными и ему. Со своей стороны, могу лишь сказать, что я воспользовался давней возможностью исправить свои ошибки, после того, как я их обнаружил, и глубоко сожалею о любых недоразумениях, к которым они могли привести.

Дополнение. Твердые и жидкие гироскопы. Твердый гироскоп в течение многих лет регулярно демонстрировался в классе натуральной философии Университета Глазго в качестве механической иллюстрации динамики вращающихся тел, а также в Лондоне и Эдинбурге на заседаниях Королевского общества и Общества инженеров-телеграфистов, однако его описание пока не публиковалось. Нижеследующее краткое описание и рисунки теперь становятся доступными читателям *Nature*.

Твердый гироскоп состоит в основном из массивного маховика с большим моментом инерции, два конца оси которого опираются на подшипники, скрепленные с окружающим его внешним корпусом. На рис. 1 показано сечение плоскостью, проходящей через ось маховика, на рис. 2 — сечение плоскостью, перпендикулярной к оси и разрезающей корпус

²Доступен полный текст этого мемуара: <http://www.archive.org/details/problemsofrotary00barnrich>

³Имеется в виду § 848 в W. Thomson, P. G. Tait, *Treatise on Natural Philosophy*, Part II. (Рус. перев.: Томсон У. (лорд Кельвин), Тэт П. Г. Трактат по натуральной философии. Часть 2. М.–Ижевск, НИЦ «РХД», ИКИ, 2010.)

⁴William Thomson, *The Internal Fluidity of the Earth* // *Nature*, 1 Feb. 1872, vol. 5, pp. 257–259.

⁵William Thomson, *The Rigidity of the Earth* // *Nature*, 18 Jan. 1872, vol. 5, pp. 223–224.

сразу над маховиком. Корпус был снабжен тонким выступом (опорным краем) в плоскости маховика. Его граница образует правильный криволинейный многоугольник с 16 сторонами и центром в центре маховика. Каждая сторона многоугольника представляет собой небольшую дугу окружности с радиусом, большим расстояния от центра до вершин углов. Трение маховика о выступ заставляет корпус катиться по нему наподобие обруча, и именно для предотвращения этого эффекта была выбрана описанная форма криволинейного многоугольника.

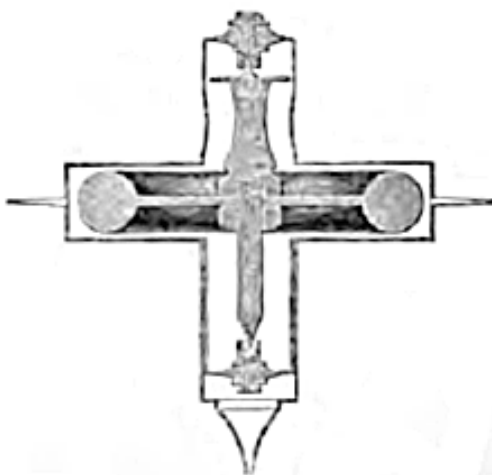


Рис. 1

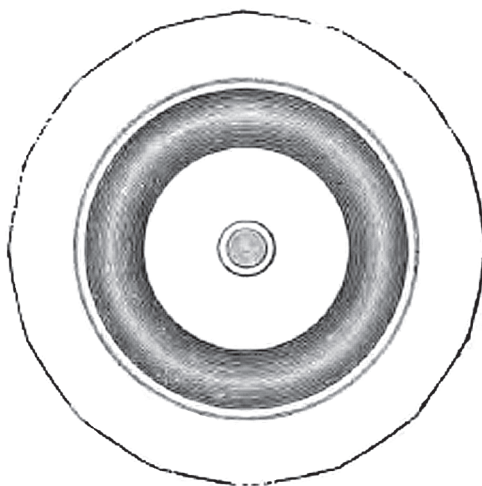


Рис. 2

Чтобы привести твердый гироскоп во вращение, использовался прочный шнур длиной 40 футов, при этом требовалось свободное пространство приблизительно в 60 футов. Ось маховика устанавливалась вертикально, шнур проходил через отверстие в корпусе, огибал шкив на два с половиной оборота и выходил через отверстие с противоположной стороны. Обращалось особое внимание на то, чтобы шнур в ненапрянутом состоянии не встречал препятствий и не имел изломов. Оператор удерживал гироскоп в неподвижном состоянии так,

чтобы его корпус не поворачивался, а ассистент, держа конец шнура, тянул его с постепенно увеличиваемой скоростью. Поддерживалось натяжение шнура, достаточное, чтобы предотвратить его скольжение вокруг шкива. Таким способом валу сообщалась высокая угловая скорость, достаточная для поддержания его вращения в течение 20 минут.

Если приведенный во вращение гироскоп установить на его опорный край так, чтобы центр тяжести находился точно над точкой опоры, и поместить на гладкую горизонтальную поверхность, например, на стеклянную пластину, лежащую на столе, он будет продолжать сохранять устойчивое равновесие. Если в этом положении подействовать на его корпус парой сил относительно горизонтальной оси в плоскости маховика, то никакого отклонения этой плоскости от вертикали не происходит, но возникает медленное вращение вокруг вертикальной оси. Если сильно ударить кулаком по боковой стенке корпуса, то возникает ощущение соприкосновения с очень жестким упругим телом, и в течение нескольких секунд после удара гироскоп испытывает вынужденное дрожание, которое, однако, быстро исчезает. По мере того как скорость вращения постепенно убывает, частота дрожания, создаваемого ударом, также снижается. Интересно было наблюдать медленную, беспорядочную на вид дрожь гироскопа, когда маховик почти переставал вращаться.

В жидком гироскопе маховик заменялся сплюснутым сфероидом из тонкой листовой меди, заполненным водой. Степень эллиптичности этой оболочки составляла $\frac{1}{10}$, то есть экваториальный диаметр превышал полярный на такую долю любого из них. Концы полярной оси находились на подшипниках, закрепленных на латунном круговом кольце, окружавшем сфероид. Кольцо было жестко связано с опорным краем в виде криволинейного многоугольника, лежащего в экваториальной плоскости прибора, образуя таким образом раму для поддержания сфероидальной оболочки. На рисунке 3 представлено сечение, проходящее через ось, чтобы показать эллиптичность, а на рисунке 4 — вид гироскопа с точки, лежащей на продолжении оси. Чтобы избежать повреждения оболочки при падении гироскопа в конце его вращения, вокруг него устанавливались ограничивающие стержни таким образом, чтобы никакая плоскость не могла касаться оболочки.

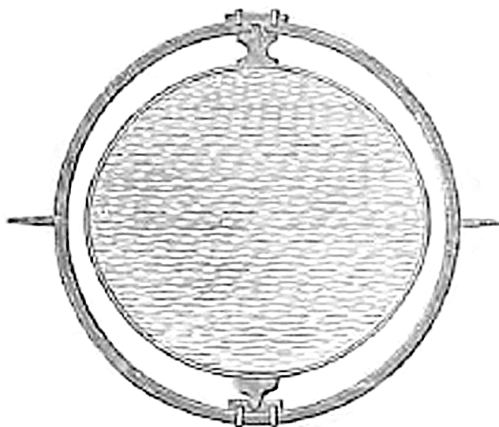


Рис. 3

Жидкий гироскоп приводился во вращение тем же способом, что и твердый, отличие состояло лишь в использовании гораздо более длинного шнура и большого колеса, чтобы тянуть за него. Шнур сначала наматывался на катушку, которая могла свободно вращаться вокруг штифта. Конец шнура обвивал на два с половиной оборота небольшой шкив, пока-

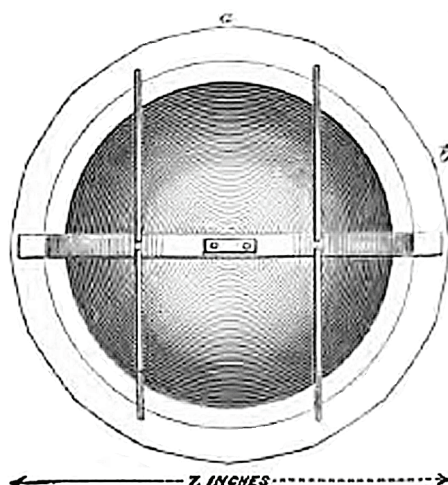


Рис. 4

занный на рисунке, а оттуда протягивался к точке на окружности большого колеса, к которой он прикреплялся. Затем ассистент крутил колесо, постепенно увеличивая скорость, при этом рамка гиростата прочно удерживалась, и к входящему концу шнура прикладывалось необходимое натяжение, чтобы предотвратить его скольжение вокруг шкива.

On the precessional motion of a liquid

William Thomson

Citation: *Rus. J. Nonlin. Dyn.*, 2012, vol. 8, no. 1, pp. 155–159 (Russian)

Originally published in: *Brit. Assoc. Report*, 7 Sept. 1876, pt. ii, pp. 33–35; also in *Nature*, 1 Feb. 1877, vol. 15, pp. 297–298